

Review Paper

Investigation of Linear and Nonlinear Behaviors of Silver Oxide Nanoparticles in Graphene Oxide Solution¹

Saeed Maymanat Abady², Hamid Najari^{*3} and Reza Rasuli⁴

Received: 2023.06.14

Revised: 2023.09.09

Accepted: 2023.10.02

Abstract

In this research, linear and non-linear optical properties of silver oxide nanoparticles in graphene oxide medium have been investigated. First, graphene oxide is prepared by the improved method of Hammers. Then the synthesis of silver oxide nanoparticles is carried out in the environment of graphene oxide diluted with deionized water, by the electric arc method. The electric arc was applied at 200, 300, 400, and 500 volts with a three-second pulse duration of one minute. The results of ultraviolet-visible spectroscopy show that the resulting solution contains nanoparticles of graphene oxide and silver oxide. Then, a CW 532 nm beam with a maximum power of 300 mW was used to determine the linear absorption of samples. Then, the z-scanning method was used to determine the nonlinear characteristics of the samples. After analyzing the graphs, the refraction and nonlinear absorption coefficients of each sample have been calculated. The results show that with increasing voltage, the concentration of nanoparticles produced in the samples increases and the linear absorption coefficient increases with it. The lowest value of linear absorbance is $1.31 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ and nonlinear absorbance is negative for all samples and its lowest value is $7.86 * 10^{-3}$. Also, the nonlinear refractive index is negative for all the samples and its maximum value is $1.61 * 10^{-14}$. The thermo-optical coefficients of each of the samples have also been obtained.

Keywords: *Electric Arc, GO, Silver Oxide Nanoparticles, Nonlinear Refractive Index, Improved Method of Hammers.*

¹ DOI: 10.22051/ijap.2023.44095.1332

² M. Sc. Graduated, Department of Physics, Zanjan University & Teacher of Education Ministry in Qorve. Email: s.maymanat@yahoo.com

³ Assistant Professor, Department of Physics, Zanjan University, Zanjan, Iran. (Corresponding Author) Email: najari@znu.ac.ir

⁴ Professor, Department of Physics, Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: r-rasuli@znu.ac.ir



بررسی رفتارهای خطی و غیرخطی نانوذرات اکسید نقره در محلول اکسید گرافین^۱

سعید میمنت‌آبادی^۲، حمید نجاری^{۳*} و رضا رسولی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا

سال سیزدهم، پیاپی ۳۵، زمستان ۱۴۰۲

صص ۱۱۲ - ۱۲۸

چکیده:

در این پژوهش ویژگی‌های اپتیکی خطی و غیرخطی نانو ذرات اکسید نقره در محیط اکسید گرافین بررسی شده است. ابتدا اکسید گرافین به روش بهبود یافته هامرز تهیه شده و سپس سنتز نانو ذرات اکسید نقره در محیط اکسید گرافین رقیق شده با آب دوبار یونیده، به روش قوس الکتریکی انجام می‌شود. قوس الکتریکی در ولتاژهای ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ ولت با تپ‌های سه ثانیه‌ای به مدت یک دقیقه اعمال شده است. نتایج طیف سنجی مرئی فرابنفش نشان می‌دهد که محلول بدست آمده، شامل نانوذرات اکسید گرافین و اکسید نقره است. سپس برای مشخص نمودن جذب خطی از لیزر ۵۳۲ نانومتر با بیشینه توان ۳۰۰ میلی وات و برای مشخص نمودن ویژگی‌های غیرخطی نمونه‌ها از روش روبش استفاده شده است. پس از آنالیز نمودارها ضرایب شکست و جذب غیرخطی هر نمونه محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژ، غلظت نانوذرات تولید شده در نمونه‌ها بیشتر شده و ضریب جذب خطی متناظر با آن افزایش یافته است. کمترین مقدار جذب خطی برابر $(1/31 \text{ cm}^{-1})$ است. همچنین، جذب غیرخطی برای تمام نمونه‌ها منفی و کمترین مقدار آن برابر با (10^{-3} cm/W) است. افزون بر این، ضریب شکست غیرخطی برای تمام نمونه‌ها منفی بوده و بیشترین مقدار آن برابر با $(10^{-14} \text{ cm}^2 / W)$ است. ضرایب ترموپتیکی هر یک از نمونه‌ها نیز بدست آمده است.

واژگان کلیدی: قوس الکتریکی، اکسید گرافین، نانوذرات اکسید نقره، ضرایب غیرخطی شکست، روش هامرز اصلاح شده.

^۱ DOI: 10.22051/ijap.2023.44095.1332

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه زنجان و دبیر آموزش و پرورش شهرستان قروه. Email: s.maymanat@yahoo.com

^۳ استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. (نویسنده مسئول). Email: nadjari@znu.ac.ir

^۴ استاد، گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. Email: r-rasuli@znu.ac.ir



۱. مقدمه

گرافین و اکسید گرافین از ویژگی‌های منحصر به فردی برخوردار هستند و به دلیل کاربردهای فراوانی که این دو ماده در شاخه‌های مختلف علوم دارند، در سنوات اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌اند. در گرافین ساختار تک لایه‌ای اتم‌های کربن به صورت شش ضلعی در یک شبکه دو بعدی لانه زنبوری قرار گرفته است که خود اساس گرافیت سه بعدی و نانولوله‌های تک بعدی را تشکیل می‌دهد [۱-۵]. از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گرافین می‌توان به رسانایی الکتریکی و گرمایی زیاد، عبور دهی اپتیکی بالا [۶-۸]، ضخامت بسیار ناچیز، سختی بالا و بروز و ظهور ابررسانایی در دمای بالا [۹] اشاره کرد. از طرف دیگر اکسید گرافین دارای ویژگی‌های غیرخطی کمابیش بزرگی است که کاربرد آن را به عنوان عدسی گرمایی و محدودکننده اپتیکی ممکن می‌سازد [۱۰-۱۱]. این ماده دارای نوار سریع جذب اشباع‌پذیر است که ناشی از تغییر نوار رسانش در اثر جذب تابش فرودی است [۱۲]. در حقیقت، یکی از دلایل بروز رفتار غیرخطی وجود جذب اشباع‌پذیر است. همچنین کاربردهایی چون چند برابر سازی بسامد و قفل‌شدگی مد برای این ماده گزارش شده است [۱۳]. متأسفانه با وجود مقالات فراوانی که در مورد ویژگی‌های اکسید گرافین ارائه شده است، تعداد کمی از آن‌ها رفتار غیرخطی این ماده را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

در میان روش‌های آزمایشگاهی موجود برای بررسی ویژگی‌های غیرخطی مواد، روش روبش محوری یکی از معروف‌ترین و راحت‌ترین روش‌ها است که می‌توان بزرگی و علامت ضریب شکست را هم زمان اندازه‌گیری نمود. این روش که به روبش Z نیز معروف است روش تک باریکه‌ای مهمی برای تعیین ضرایب شکست و جذب غیرخطی نمونه‌ها به شمار می‌رود [۱۴-۱۶]. به تازگی ویژگی‌های غیرخطی محلول اکسید گرافین با روش روبش محوری مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۷]. افزون بر اکسید گرافین، نانو ذرات فلزی نیز دارای ویژگی‌های غیرخطی قابل اندازه‌گیری هستند. به ویژه هنگامی که این نانو ذرات در محیط‌هایی قرار گیرند که محلول‌های کلئیدی تشکیل دهند. پیش از این در یک پژوهش جداگانه بزرگی عددی ضرایب غیرخطی برای نانو ذرات نقره و طلا در محیط آب گزارش شده که در آن از روش روبش محوری برای اندازه‌گیری کمیت‌های غیرخطی استفاده شده است [۱۸]. همچنین در گزارش دیگری به بررسی اثر اندازه نانو ذرات در تابع دی‌الکتریک و مشخص نمودن اندازه آن‌ها با استفاده از طیف مرئی-فرابنفش پرداخته شده است [۱۹]. در این مقاله، با استفاده از نانو ذرات اکسید نقره که در محلول اکسید گرافین تولید می‌شوند، به بررسی ویژگی‌های غیرخطی این محلول کلئیدی با استفاده از روش روبش محوری پرداخته شده

است. در حقیقت، این پژوهش شامل دو بخش اساسی تهیه و مشخصه‌یابی نمونه‌های دارای ویژگی - های غیرخطی و بررسی رفتار غیرخطی آن‌ها در چیدمان روبش محوری است.

۲. تهیه نمونه‌ها

اکسید گرافین بکار گرفته شده در این پژوهش به روش هامرز اصلاح شده که اساس آن اکسیداسیون گرافیت تهیه شده است [۲۰-۲۱]. ابتدا ۰/۱ گرم پودر گرافیت طبیعی را وزن شد. سپس ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ به آن افزوده و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه هم‌زده شد. سپس ۰/۳ گرم پتاسیم پرمنگنات به محلول قرار داده شده در آب و یخ افزوده شد. برای رقیق شدن محلول ۶۰ میلی‌لیتر آب دوبار یونیده به آن افزوده شد. در مرحله‌ی بعد هیدروژن پروکساید به آن افزوده می‌گردد تا پرمنگنات موجود در محلول حذف شود. این عمل سبب تغییر رنگ محلول از قهوه‌ای تیره به قهوه‌ای روشن می‌شود و همچنین گاز تولید شده به صورت کامل از محلول خارج می‌گردد. در نهایت مخلوط ناهمگن (سوسپانسیون) فیلتر شده و کیک زرد رنگ جمع‌آوری شد و سپس به منظور اسید شویی و برطرف کردن سایر مواد شیمیایی این کیک سه بار با ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار یونیده شسته شد. در نهایت برای جداسازی ورقه‌های گرافین از دستگاه گریزانه (سانتریفوژ) استفاده کرده و اکسید گرافین جداسازی می‌شود. در آخرین مرحله ورقه‌های اکسید گرافیت با استفاده از امواج فراصوت (اولتراسونیک) از هم جدا شده و به اکسید گرافین تبدیل گردید. برای تهیه‌ی نانوذرات نقره از روش قوس‌الکتریکی استفاده شده است [۲۲]. به این منظور دستگاه انفجار الکتریکی سیم (EEW)^۱، ساخت شرکت نانو فناوریان پارس، استفاده شد. برای تهیه محلول از اکسید گرافین با غلظت ۰/۰۲ گرم بر لیتر حل شده در آب دوبار یونیده استفاده و این محلول برای اعمال قوس‌الکتریکی و تولید نانوذرات نقره مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن برای اعمال قوس‌الکتریکی و تولید نانوذرات نقره محلول‌های تهیه شده در دستگاه EEW قرار داده شد. نقره‌ی بکار گرفته شده در این آزمایش، سیمی به ضخامت ۰/۲ میلی‌متر است که به عنوان آند درون دستگاه و محلول قرار می‌گیرد. طول قابل تنظیمی از سیم که به عنوان تغذیه^۲، به سیستم معرفی می‌شود، در قوس‌الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طول تغذیه سیم نقره‌ای در نمونه‌های تهیه شده ۲/۷ cm است. همچنین ولتاژ قوس در دستگاه از ۲۰۰ تا ۵۰۰ V متغیر و قابل تنظیم است، اگرچه مدت زمان اعمال تپ برای همه ولتاژهای انتخابی یک دقیقه است. ولتاژهای استفاده شده برای اعمال قوس

^۱ Electrical Explosion of Wire

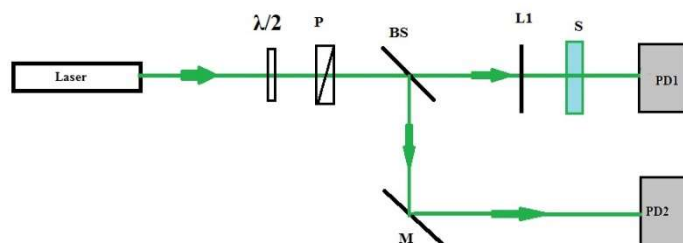
^۲ Feed



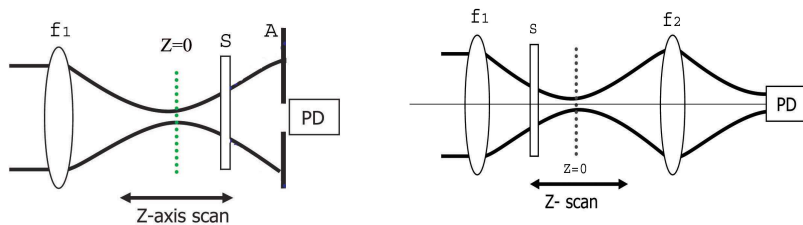
در نمونه‌های مورد نظر ما با گام ۱۰۰ ولتی در ولتاژهای ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ ولت انتخاب شدند. پس از تولید نانوذرات نقره، مقدار 60 mL از هر نمونه در ولتاژهای یاد شده نمونه‌برداری و روی هم رفته، 240 mL جهت انجام آزمایش جاروب Z تهیه و نگهداری می‌شوند. بلافاصله پس از آماده شدن نمونه‌ها طیف جذبی آن‌ها تهیه شد.

۳. چیدمان روبش محوری

شمای استاندارد برای اندازه‌گیری‌های روبش Z در شکل (۱) نشان داده شده است. در این روش، نمونه غیرخطی در راستای انتشار باریکه گاوسی (محور Z) حرکت داده می‌شود. به گونه‌ای که اغلب نمونه از فاصله‌های $-Z$ تا کانون یک لنز به فاصله کانونی f_1 و سپس تا فاصله $+Z$ حرکت داده می‌شود. توزیع شدت باریکه در داخل نمونه سبب تغییر ضریب شکست می‌گردد. این تغییرات به شعاع باریکه و فاصله از کانون بستگی دارد، به صورتی که $\Delta n(r, z) = n_p I(r, z)$ است و در آن n_p ضریب شکست غیرخطی است. این تغییرات در ضریب شکست سبب واگرایی یا همگرایی باریکه لیزری می‌شود که در نقاط دور (در محل آشکارساز) موجب تغییر در شدت برحسب تابعی از فاصله نمونه می‌گردد. با رسم تغییرات شدت برحسب مکان نمونه می‌توان علامت و بزرگی n_p را مشخص کرد. نمونه اغلب در ناحیه کمره باریکه حرکت داده می‌شود. در فاصله‌های به اندازه کافی دور از نمونه، روزنه که گشودگی آن روی محور قرار دارد و یک آشکارساز که تغییرات شدت را پشت روزنه ثبت می‌کند، قرار داده می‌شود. هنگامی که نمونه دور از کمره قرار دارد و شدت کم است، عبوردهی روزنه به واحد بهنجار می‌شود. به محض اینکه نمونه به کمره نزدیک می‌شود، جذب غیرخطی و شکست غیرخطی القا شده اثر قوی روی باریکه می‌گذارد و منحنی‌های عبوردهی بهنجار شده شکل مشخصه‌ای به خود می‌گیرد. خواص غیر خطی نمونه سبب بروز خود کانونی و یا خود واکانونی و در نتیجه تغییر پهنای باریکه عبوری از محیط شده و این اثر به نوبه خود عبوردهی را کم یا زیاد می‌کند. در شکل (۲) منحنی تغییرات عبوردهی بر حسب فاصله در یک آزمایش جاروب محوری نوعی نمایش داده شده است. زمانی که ضریب شکست غیرخطی محیط منفی است، یک منحنی مشخصه قلّه-دره بدست می‌آید. از طرف دیگر، زمانی که ضریب شکست غیر خطی محیط مثبت است، یک منحنی مشخصه دره-قلّه بدست می‌آید.



(الف)

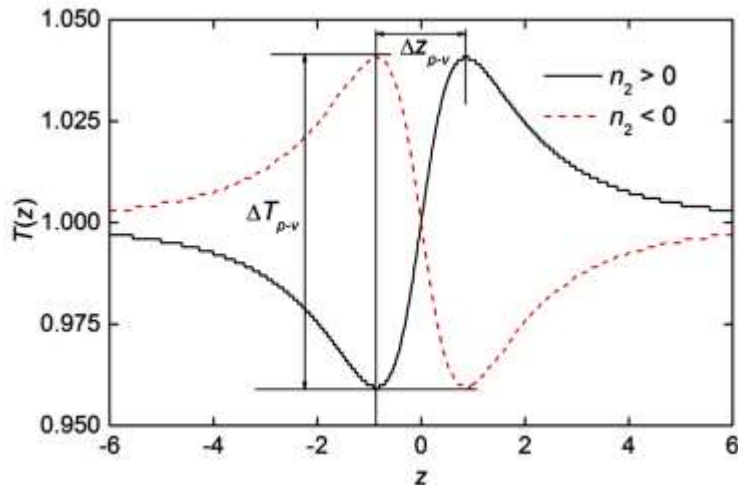


(ج)

(ب)

شکل ۱ - شمای چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری‌های روبش Z [۱۶] الف) عناصر اپتیکی شامل تیغه نیم موج $\lambda/2$ ، قطبشگر P، روزنه A، باریکه شکن BS، آینه M، عدسی کانونی کننده L_1 ، توان سنسور PD1، PD، PD2، نمونه S (ب) طرح در یچه بسته ج) طرح در یچه باز. f_1 عدسی اصلی، f_2 عدسی جمع‌آوری کننده.





شکل ۲- نحوه استخراج بزرگی ΔT_{p-v} از نمودار حاصل از داده های روبش z در نمونه های با ضریب شکست غیر خطی مثبت و منفی [۱۷]

در این پژوهش چیدمان جاروب z شامل یک ریل متصل به استپ موتور، یک آشکارساز، لیزر، عدسی همگرا با فاصله کانونی ۹ cm با ابیراهی کم، پایه و سلول (یا کویت) از جنس کوارتز استفاده شده است. لیزر نئودیموم یاگ مورد استفاده در این آزمایش یک لیزر پمپاژ دیودی حالت جامد با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان اسمی ۳۰۰ mW، ساخت شرکت Lasers Ultra کانادا، می باشد. آشکارساز مورد استفاده، یک آشکارساز سیلیکونی با قطر دریچه ی ۱ cm است که نور تابشی ورودی را به جریان الکتریکی تبدیل می کند. توان سنج نیز مدل 13PEM001 ساخت شرکت Melles- Griot است که از راه خروجی آنالوگ آن می توان بیشینه ی ولتاژی تا ۱ V ترا دریافت کرد. این خروجی توسط بُرد آردوینو به دیجیتال تبدیل شده و داده های آزمایشگاهی به رایانه هدایت می شود.

۱.۳ تنظیمات مربوط به هم محور کردن اجزای چیدمان

ابتدا باید قطعات چیدمان آزمایشگاهی در یک راستا قرار گیرند، برای این منظور لیزر را روی میز اپتیکی ثابت کرده، آنرا روشن می کنیم. سپس آشکارساز را در فاصله ی ۳۰ سانتی متری آن قرار می دهیم، به صورتی که نور لیزر وارد آن شده و توان را نشان دهد. دریچه (یا روزنه) پیش از

آشکارساز و در فاصله‌ی ۲ تا ۳ سانتی‌متری آن قرار داده می‌شود، به گونه‌ای که نور از آن عبور کرده و به آشکارساز برسد. سپس عدسی همگرا را جلوی لیزر و در فاصله‌ی ۳ سانتی‌متری آن قرار می‌دهیم. مجموعه‌ی ریل و سکوی مخصوص سلول به طول ۱۷ cm بین عدسی و دریچه قرار داده می‌شود، به شکلی که مرکز آن در کانون عدسی قرار گیرد. برای نگه‌داشتن نمونه‌ها، گیره‌ای روی ریل نصب شد و طوری تنظیم شد که باریکه لیزری پس از خروج از عدسی به نمونه بتابد.

۲.۳ روبش Z دریچه بسته

در شروع آزمایش، داده‌های مربوط به روبش Z دریچه بسته برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها جمع‌آوری می‌شود. برای این منظور شعاع روزنه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که نمودار قله-دره‌ی بهتری دریافت شود. مقداری از یکی از نمونه‌ها را داخل کووت ریخته آن را روی ریل قرار داده و شروع به اندازه‌گیری و ثبت داده‌های آن می‌کنیم. با کاهش نور محیط دستگاه را با نرم‌افزار مربوطه روی گام‌های ۲ mm و سپس ۴ mm تنظیم و اندازه‌گیری را انجام و در نهایت، نمودارهای مربوط به هر حالت ذخیره می‌شود. سپس با شست‌وشوی کووت با آب دیونیزه، نمونه‌ها یکی پس از دیگری داخل سلول ریخته و روی ریل قرار می‌گیرد و در نهایت، نمودار مربوط به هر نمونه در رایانه ذخیره می‌شود تا مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله رفتار قله-دره‌ای نمودارها به راحتی قابل مشاهده است.

۳.۳ روبش Z دریچه باز

پس از انجام آزمایش روبش Z دریچه بسته برای تمام نمونه‌ها، دستگاه برای انجام آزمایش روبش Z دریچه باز جهت اندازه‌گیری ضریب جذب غیرخطی نمونه‌ها آماده می‌شود. برای این کار روزنه را برداشته و این بار نیز اندازه‌گیری برای تمام نمونه‌ها با گام‌های ۲ mm و سپس ۴ mm انجام و نمودار مربوط به هر نمونه ذخیره می‌شود.

۴.۳ مباحث نظری روبش محوری

در حالت دریچه باز عبور دهی به هنجار بر حسب تابعی از مکان در راستای محور Z عبارت است از [۱۴-۱۸]:

$$T(z) = \sum_{m=0} \frac{[-q_0(z)]^m}{(m+1)^{3/2}} \quad \text{for } |q| < 1 \quad (1)$$



$$L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad (2)$$

$$q_0 = \beta \frac{I_0 L_{eff}}{[1 + (z/z_0)^2]} \quad (3)$$

$$Z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (4)$$

که در آن، Z_0 طول پراش ریلی که در باریکه گاوسی از معادله (۴) بدست می‌آید، I_0 شدت باریکه در کانون، α و β ضرایب جذب خطی و غیرخطی در طول موج کاری، همچنین L و L_{eff} به ترتیب ضخامت‌های حقیقی و موثر نمونه هستند. برای محاسبه ضریب شکست غیرخطی n_2 روابط استاندارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

$$\Delta T_{P-V} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta \Phi_0| \quad (5)$$

$$|\Delta \Phi_0| = k L_{eff} n_2 I_0 \quad (6)$$

که در آن، $\Delta \Phi_0$ جابه‌جایی فاز میدان غیرخطی باریکه گاوسی در محیط نسبت به خلأ می‌باشد. معادله (۶) تغییرات فاز را برحسب ضریب شکست غیرخطی و طول موثر محلول در سلول و شدت اولیه باریکه مشخص می‌کند. S کسر عبوری نور از روزنه است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = 1 - \exp\left(-\frac{2r_a^2}{\omega_a^2}\right) \quad (7)$$

در این معادله، r_a شعاع روزنه و ω_a شعاع باریکه در مکان روزنه می‌باشند. بزرگی S برای آزمایش‌های روزنه باز برابر ۱ است. از روی نمودارهای بدست آمده از روبش Z نمودارهای قله-دره می‌توان ضریب شکست غیرخطی را محاسبه کرد. در شکل (۲)، نمودار بهنجار شده نوعی در یک آزمایش روبش Z نمایش داده شده است. عبوردهی بیشینه در قله با TP ، در دره با TV و اختلاف این دو با ΔT_{P-V} نشان داده می‌شود و بزرگی آن از معادله (۵) بدست می‌آید. جذب غیرخطی ماده نیز از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\alpha(I) = \alpha_0 + \beta I \quad (8)$$

بدیهی است که در معادلات (۱) تا (۸)، فرض‌ها و تقریب‌های ساده‌کننده‌ای در نظر گرفته شده است.

داده‌های یک آزمایش روبش Z برای هر شکل باریکه و همچنین هر ضخامت پاسخگو نیست. به عنوان نمونه، می‌توان محیط را نازک و طول نمونه را به اندازه‌ای کوچک در نظر گرفت که بتوان

از تغییرات قطر پرتو در داخل نمونه به دلیل شکست غیرخطی و یا پراکندگی غیرخطی چشم‌پوشی کرد. معمولا شرط $L \ll Z_0$ برای اجتناب از پراش غیرخطی و همچنین شرط،

$$L \ll Z_0 / \Delta\phi_0 \quad (9)$$

برای شکست غیرخطی اعمال می‌شود. فاصله جاروب در راستای محور در شرط $Z < 5Z_0 < 5Z_0$ صدق می‌کند و فاصله روزنه تا کانون $20Z_0$ تا $100Z_0$ در نظر گرفته می‌شود.

۴. بحث و نتایج

در پژوهش حاضر، از روش قوس الکتریکی برای تولید نانو ذرات استفاده شده است. در کار پیشین، نمونه‌ها از روش کندوسوز لیزری تهیه شده بودند [۱۸]. از طرف دیگر محیط اکسید گرافین جایگزین آب شده است.

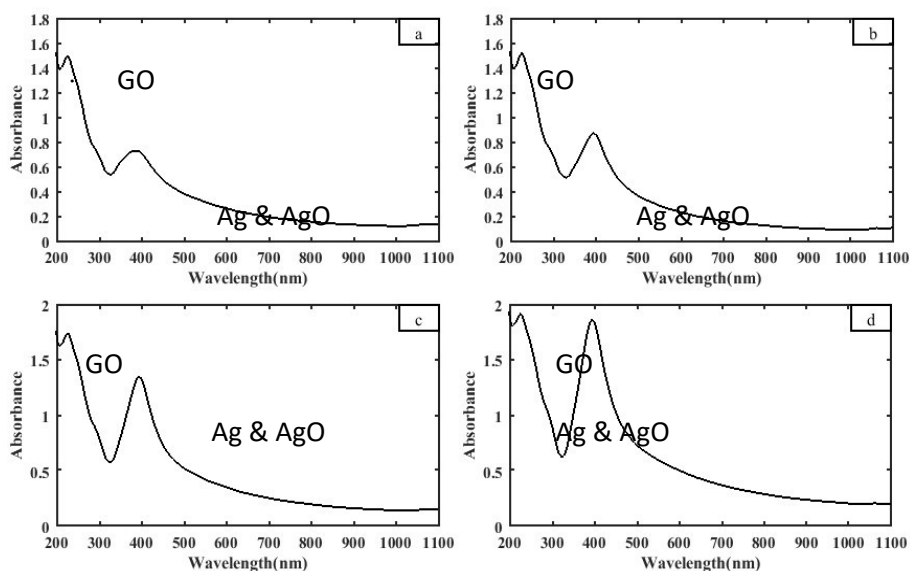
برای بررسی اولیه و مشخص شدن ترکیب نمونه‌ها از طیف سنجی مرئی - فرابنفش استفاده شده است (شکل (۳)). در طیف نمونه‌ها، قله‌ی مربوط به اکسید گرافین در 238 nm و قله‌ی مربوط به کلونید نقره در 396 nm مشاهده می‌شود. جذب نسبی در طول موج 238 nm اطراف $1/6$ بوده و در هر چهار نمونه مقدار کمابیش ثابتی را نشان می‌دهد. اگرچه، در محل قله تشدید پلاسמוنی نانوذرات نقره بزرگی جذب نسبی افزایش خطی نسبت به تغییرات ولتاژ را نشان می‌دهد. مقادیر بدست آمده از نمودار در جدول (۱) درج شده است. پیش از این نشان داده شده است، [۱۸ و ۱۹]، که جذب افزون بر سطح مقطع به تعداد ذرات در واحد حجم، چگالی نانوذرات نقره، غلظت گرافین و ضخامت سلول مورد استفاده در طیف‌سنجی بستگی دارد. همچنین نشان داده شده است، [۱۸ و ۱۹]، نمونه‌هایی که شعاع ذرات آن‌ها بین 20 نانومتر تا 60 نانومتر است، بیشترین جذب را داشته و با افزایش شعاع قله، تشدید پلاسمونی به سمت طول موج‌های بلندتر حرکت می‌کند. در شکل (۳) نیز حرکت قله از 396 nm شروع شده و تا 400 nm ادامه یافته است. در اینجا هدف بررسی ویژگی‌های غیرخطی است. توضیحات بیشتر در منبع [۱۹] آمده است.

جدول ۱- بزرگی جذب در محل قله نانوذرات نقره و ضریب جذب خطی α نمونه‌ها

نمونه‌ها	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
جذب در 400 نانومتر	۰/۷۸	۰/۸۸	۱/۴۴	۱/۹۲
α (1/cm)	۱/۳۴۰	۱/۴۳۸	۱/۵۲۹	۱/۸۳۹



توجه داریم که برای یافتن ضریب جذب خطی نمونه‌ها نیاز به توان بالا نیست. از این رو، برای محاسبه ضریب جذب خطی نمونه‌ها از یک صافی ND در چیدمان رویش Z استفاده شده است. آشکار ساز شدت باریکه لیزری را پیش از عبور از نمونه در توان‌های انتخابی ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی وات ثبت نموده و سپس توان‌های خروجی از نمونه مشخص شده‌اند. قانون بیر و لامبرت به راحتی ضریب جذب خطی نمونه‌ها را مشخص می‌کند. مقادیر بدست آمده در جدول (۱) آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ، جذب مربوط به نانوذرات نقره افزایش می‌یابد. همچنین در جدول (۲)، پارامترها و شرایط اولیه برای انجام آزمایش رویش Z آمده است.



شکل ۳ - نمودار طیف های مرئی- فرابنفش نانو ذرات نقره که به روش قوس الکتریکی در محلول اکسید گرافن تهیه شده است. در این شکل a، b، c و d به ترتیب مربوط به نمونه های S₁، S₂، S₃ و S₄ می باشند.

جدول ۲- بزرگی پارامترهای مربوط به آزمایش روبش Z

ردیف	نوع پارامتر	بزرگی پارامتر	ردیف	نوع پارامتر	بزرگی پارامتر
۱	بیشینه توان لیزر	۳۰۰ (mW)	۶	گشودگی روزنه	۰/۳۳ (μm)
۲	طول موج (نانومتر)	۵۳۲ (nm)	۷	قطر لکه پس از لیزر	۱۲۰۰ (μm)
۳	بیشینه شدت تولیدی در کانون	۵۳۲ (W/cm ²)	۸	قطر لکه در کانون	۲۵۰ (μm)
۴	محدوده رایلی	۳۷ (cm)			
۵	فاصله کانونی عدسی محدب	۹ (cm)			

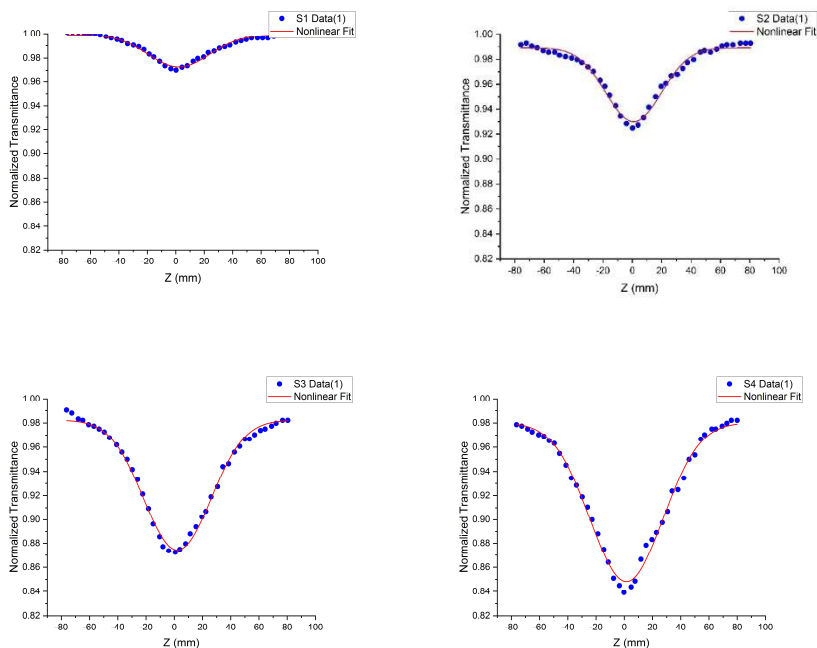
برای محاسبه‌ی ضریب شکست غیرخطی ابتدا باید عبوردهی خطی روزنه، k بر اساس با معادله (۶) بدست آید. در این آزمایش بهترین حالت عبور نور از روزنه‌ای به شعاع $0/9 \text{ mm}$ بوده و همچنین شعاع باریکه ω_a در محل روزنه برابر با 2 mm اندازه گیری شده است. بزرگی k در تمام نمونه‌ها عدد $0/33$ بدست آمده است. در شکل (۴)، نمودار بدست آمده از روبش دریچه باز نمایش داده شده است. نمودارهای شکل (۴)، همگی دارای دره می‌باشند و نشان می‌دهد، ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها منفی است. از معادلات (۱) تا (۳) برای برازش داده‌های تجربی جمع‌آوری شده و تعیین جذب غیرخطی استفاده می‌شود. ضرایب جذب غیرخطی نمونه‌های تولید شده عبارتند از:

$$10^{-3} \text{ cm/W}, \beta_1 = -8/23 * 10^{-3} \text{ cm/W}, \beta_1 = -7/86 * 10^{-3}$$

$$10^{-3} \text{ cm/W}, \beta_2 = -11/20 * 10^{-3} \text{ cm/W}, \beta_2 = -9/35 * 10^{-3}$$

داده‌های بالا نشان می‌دهند که با افزایش ولتاژ اعمالی جذب غیرخطی نمونه‌ها نیز به صورت خطی افزایش می‌یابند که می‌توان آن را به افزایش غلظت نانوذرات تولید شده نسبت داد.



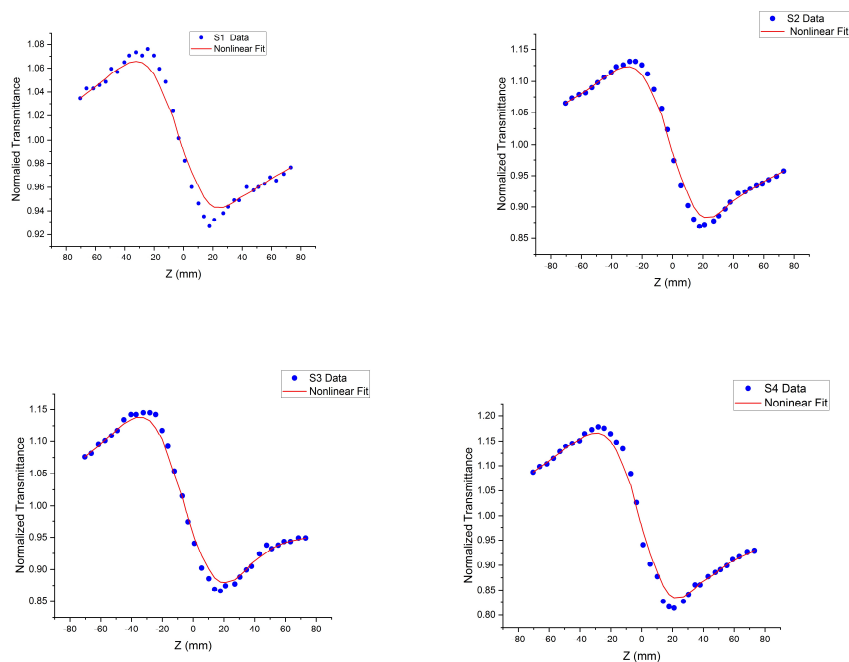


شکل ۴ - نمودار روبش دریچه باز برای نانو ذرات نقره در محلول اکسید گرافن. در این شکل سری های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مربوط به نمونه های S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 می باشند.

در شکل (۵)، منحنی تغییرات $T(Z)$ برحسب Z نمایش داده شده است. برای برازش داده‌ها در این دسته از داده گیری تجربی از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$T(x) = 1 - \frac{4x}{(x^2+9)(x^2+1)} \Delta\Phi_0 \quad (10)$$

نمودارهای شکل (۵)، همگی مشخصه قله-دره را دارا می‌باشند، که نشان از منفی بودن ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها دارند. واکانونی گرمایی بیشترین تاثیر را در رفتار غیرخطی نمونه‌ها دارد. در جدول (۳) نتایج بدست آمده از روبش محوری برای چهار نمونه تولید شده آمده است.



شکل ۵ - نمودار روبش دریاچه بسته برای نانوذرات نقره در محلول اکسید گرافن. در این شکل a، b، c و d به ترتیب مربوط به نمونه های S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 می باشند.

جدول ۳- نتایج حاصل از اندازه گیری های روبش محوری برای چهار نمونه نانوذرات اکسید نقره در محلول

اکسید گرافن

نمونه ها	ΔT_{P-V}	$\Delta \Phi_0$	$n_2 (cm^2 / W) \times 10^{-7}$
S_1	۰/۰۶۲	۰/۱۷۰	$-۰/۴۷۰ \times 10^{-1۴}$
S_2	۰/۱۳۸	۰/۳۷۷	$-۱/۰۴۱ \times 10^{-1۴}$
S_3	۰/۱۶۳	۰/۴۴۶	$-۱/۲۳۸ \times 10^{-1۴}$
S_4	۰/۲۱۲	۰/۵۸۰	$-۱/۶۱۰ \times 10^{-1۴}$



۱.۴ اثرات ترمو اپتیکی

در اثر جذب نور توسط محیط و نانوذرات شامل آن به صورت کلی ضریب شکست محیط تغییر می کند. جذب منجر به تغییر دمای δT می شود که به نوبه خود منجر به تغییر در چگالی موضعی $\delta \rho$ می گردد. تغییر در چگالی منجر به تولید امواج صوتی می شود که به صورت موثر تنش های ناشی از تغییرات چگالی را کاهش می دهد. هر دو عامل δT و $\delta \rho$ منجر به تغییر در ضریب شکست می شوند.

$$\delta n = \left(\frac{\partial n}{\partial \rho} \right)_T \delta \rho + \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_\rho \delta T \quad (11)$$

در این جا، $\left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_\rho$ تغییرات ضریب شکست مایع واکانونی شونده بر حسب دما در چگالی ثابت است که به آن ضریب ترمو اپتیکی گفته می شود. در تقریب اول، تغییر دما سهم غالب در غیر خطیتی حرارتی است. نکته مهم در اینجا محاسبه دمای حالت پایدار و در نتیجه بررسی تغییرات شعاعی ضریب شکست محیط است. در مورد تپ های لیزری کوتاه، فمتوثانیه، پیکوثانیه و یا نانوثانیه، توزیع اولیه ضریب شکست حرارتی القا شده اساساً انعکاس همان توزیع باریکه فرودی است. اگرچه، در مورد لیزرهای قفل شده ی مد و یا لیزرهای CW، اثرات تجمعی در مقیاس های زمانی میکروثانیه قابل مشاهده هستند. در این مرحله، اندازه، شکل و شرایط مرزی حرارتی نمونه در ایجاد رفتار حالت پایدار ضریب شکست مهم می شوند. در نتیجه از نمونه ای به نمونه دیگر، بر حسب هندسه و ساختار نانوذرات و محیط اطراف آن تغییر می کند. ضریب شکست غیر خطی که در اثر تغییرات گرمایی شدید ایجاد شده است، با آنالیز گرمایش غیریکنواخت در شرایط پایدار از رابطه (۱۱) به دست می آید. همچنین ΔT تغییرات دما در نقطه کانونی است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta n = \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_\rho \Delta T = \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_\rho \frac{\alpha I_0 \omega_0^2}{4k} \quad (12)$$

در حالی که k ضریب رسانایی گرمایی محلول است. در جدول (۴) بیشینه تغییرات دمایی نمونه ها در کانون داده شده است، تغییرات ضریب شکست و ضریب ترمو اپتیکی نمونه ها نیز محاسبه و در این جدول درج شده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های روبش محوری برای چهار نمونه نانوذرات اکسید نقره در محلول اکسید گرافن

نمونه‌ها	ΔT (K)	$\Delta n \times 10^{-8}$	$\left(\frac{\partial n}{\partial T}\right)_p$ (K^{-1})
S _۱	۱۰/۲	۱/۴۳	$۱/۳۴ \times ۱۰^{-۹}$
S _۲	۱۱/۳	۳/۲	$۳/۰۰ \times ۱۰^{-۹}$
S _۳	۱۲/۲	۳/۷۸	$۳/۵۴ \times ۱۰^{-۹}$
S _۴	۱۴/۶	۴/۹۲	$۴/۶۱ \times ۱۰^{-۹}$

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوذرات اکسید نقره در محلول اکسید گرافین به روش قوس الکتریکی با موفقیت تهیه شده است. نتایج طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش حکایت از تشکیل درست قله‌های تشدید پلاسمونی در بازه طول موجی ۳۹۶ nm تا ۴۰۰ nm مربوط به نانوذرات نقره و ۲۳۸ nm تا ۲۴۲ nm در نمونه‌های اکسید گرافین دارد. همچنین جذب خطی نمونه‌های تولید شده که در توان‌های کم با استفاده از لیزر ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شده، مقادیر قابل قبولی را نشان می‌دهد. نتایج روبش محوری نشان می‌دهد که علامت ضرایب جذب غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها منفی است. از این رو، با توجه به شدت بالای باریکه‌های لیزری مهمترین روش حاکم بر این رفتار غیرخطی خود واکانونی گرمایی است. با افزایش ولتاژ دستگاه غلظت نانوذرات تولید شده افزایش یافته و ضرایب جذب خطی و غیرخطی متناظر با آن افزایش یافته‌اند.

۶. تقدیر و تشکر

نویسندگان از پژوهش سرای امام خمینی شهرستان قروه، به ویژه آقای جواد مرغزاری که در تهیه نمونه‌ها و طیف‌گیری مساعدت نمودند و همچنین آقای دکتر پیمان سلطانی مدیر عامل شرکت دانش بنیان پرتوافزار صنعت که در فرایند آزمایش‌های روبش محوری زحمات زیادی را متقبل شدند، نهایت قدردانی و تشکر را دارند.



منابع

- [1] Cai, X.; Sun, K.; Qiu, Y.; Jiao, X. , "Recent advances in graphene and conductive polymer composites for supercapacitor electrodes: A review", *Crystals*, **11**(8), 947, 2021. <https://doi.org/10.3390/cryst11080947>
- [2] Yu W., Sisi L. , Haiyan Y., Jie L. , "Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review", *RSC Adv.* , **10**, 15328-15345, 2020. <https://doi.org/10.1039/D0RA01068E>
- [3] Yusaf T , Mahamude ASF, Farhana K, Harun WSW, "A comprehensive review on graphene nanoparticles: Preparation, properties, and applications", *Sustainability* **14**, 12336, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141912336>
- [4] Soldano Caterina, Mahmood Ather, Dujardin Erik; "Production, properties and potential of grapheme", *Carbon* **48**, 2127 , 2010 , <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.01.058>
- [5] S. Sajjad, S.A. Khan Leghari, and A. Iqbal, "Study of Graphene Oxide Structural Features for Catalytic, Antibacterial, Gas Sensing, and Metals Decontamination Environmental Applications", *ACS Appl. Mater. Interfaces* **9**(50), 43393-43414, 2017. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b08232>
- [6] Sang M. , Shin J., Kim K. , Yu K.), "Electronic and Thermal Properties of Graphene and Recent Advances in Graphene Based Electronics Applications", *Nanomaterials (Basel)* , **9** (3), 374, 2019. <https://doi.org/10.3390/nano9030374>
- [7] Schöche, S., Hong, N., Khorasaninejad, M., Ambrosio, A., Orabona, E., Maddalena, P. and Capasso, F., "Optical properties of graphene oxide and reduced graphene oxide determined by spectroscopic ellipsometry", *Applied Surface Science* , **421**(B1), 778-782, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.035>
- [8] Jingang Wang , Fengcai Ma , Wenjie Liang , Rongming Wang and Mengtao Sun , "Optical, photonic and optoelectronic properties of graphene, h-BN and their hybrid materials", *Nanophotonics* , **10**(5), 2017. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2017-0015>
- [9] Cao Yuan , Fatemi Valla, Fang Shiang, Watanabe Kenji , Taniguchi Efthimios, Takashi Kaxiras , Jarillo-Herrero Pablo , "Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices", *Nature* , **556**, 43-50, 2018. <https://doi.org/10.1038/nature26160>
- [10] Zhibo Liu, Yan Wang, Xiaoliang Zhang, Yanfei Xu, Yongsheng Chen, and Jianguo Tian; "Nonlinear optical properties of graphene oxide in nanosecond and picosecond regimes", *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 021902 , 2009. <https://doi.org/10.1063/1.3068498>
- [11] Dissanayake D.M.A.S., Cifuentes M. , Humphrey M.G., "Optical limiting properties of (reduced) graphene oxide covalently functionalized by coordination complexes, Coordin", *Chem. Rev.*, **375**, 489-513, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.05.003>
- [12] Sun, Y.; Xia, H. , "Bi2Te3/Graphene Heterostructure as the Saturable Absorber for ~1.0 μm Passively Q-switched Solid State Pulsed Laser", *Crystals*, **12**(2), 222, 2022. <https://doi.org/10.3390/cryst12020222>
- [13] Z Sun, T Hasan, F Torrisi, D Popa, G Privitera, F Wang, "Graphene Mode-Locked Ultrafast Lase", *ACS Nano*, **4**(2), 803-810, 2010. <https://doi.org/10.1021/nn901703e>
- [14] Sheik-Bahae M., Said A.A., Van Stryland E.W., "High-sensitivity, Single-Beam n2 Measurements", *Opt. Lett.*, **14**, 955-957, 1989. <https://doi.org/10.1364/OL.14.000955>



- [15] Christodoulides D. N. , Khoo I. C. , Salamo G. J. , Stegeman G. I. , Van Stryland E. W. , "Nonlinear refraction and absorption: mechanisms and magnitudes", *Advances in Optics and Photonics* **2**(11), 60-200 , 2010. <https://doi.org/10.1364/AOP.2.000060>
- [16] Sheik-Bahae M., Said A.A., Wei A.A., Hagan D.J., Stryland E.W.V., "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam", *IEEE J. Quantum Electron.*, **26**, 760-769, 1990. <https://doi.org/10.1109/3.53394>
- [17] Parra I. , Valbuena S., Racedo F J, "Measurement of nonlinear optical parameters in graphene oxide using the Z-scan Technique", *Spectrochimica Acta A*, **244**(5), 118833, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118833>
- [18] Nadjari H. , Hajiesmaeilbaigi F., Motamedi A., "Thermo Optical Response and Optical Limiting in Ag and Au Nanocolloid Prepared by Laser Ablation", *Laser Physics*, **20**(4), 859 , 2010. <https://doi.org/10.1134/S1054660X1007025X>
- [19] Nadjari H., Movahedinejad H., Investigating the size effect in the dielectric function of spherical nano particles and determining their allowed radial interval for experimentally produced samples, *Iranian Journal of Physics Research*, **20**, 1 , 23-30, 2020,(In Persian)
<https://doi.org/10.47176/ijpr.20.1.38131>.
- [20] Zaaba N.I. , Foo K.L. , Hashim U. , Tan S.J. , Liu W.W., Voon C.H. , "Synthesis of Graphene Oxide using Modified Hummers Method: Solvent Influence Procedia Engineering", *Procedia Engineering*, **184**, 469-477, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.118>
- [21] Kovtyukhova, N. I. et al. , "Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films from micron-sized graphite oxide sheets and polycations", *Chem. Mater.*, **11**, 771-778 , 1999. <https://doi.org/10.1021/cm981085u>
- [22] Yun G.S. , Bac L.H. , Kim J.S. , Kwon Y.S. , Choi H.S.,Kim J.C. , "Preparation and dispersive properties of Ag colloid by electrical explosion of wire", *J. All. & Comp.*, **509**, Supple. 1, S348-S352, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.01.142>



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

